

T S3/5/1

3/5/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI

(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010849262 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1996-346215/199635

Related WPI Acc No: 1997-217067

XRPX Acc No: N96-291507

Audio creation method for audio synthesiser used in e.g. telephone reference service - by cutting length of wave through audio window which converges wave peak point near to zero point of predetermined part of wave

Patent Assignee: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD (MATU ); MATSUSHITA DENKI SANGYO KK (MATU )

Inventor: DAIJI H; KENJI M; TAKAKO K; HARA N; KAMAI T; MATSUI K

Number of Countries: 004 Number of Patents: 004

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 8160991	A	19960621	JP 94302471	A	19941206	199635 B
CN 1131785	A	19960925	CN 95119049	A	19951206	199801
US 5864812	A	19990126	US 95565401	A	19951130	199911
KR 385603	B	20030821	KR 9546901	A	19951205	200412

Priority Applications (No Type Date): JP 94302471 A 19941206; JP 95220963 A 19950830

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 8160991	A		18	G10L-005/04	
CN 1131785	A			G10L-009/04	
US 5864812	A			G10L-005/02	
KR 385603	B			G10L-013/00	Previous Publ. patent KR 96025314

Abstract (Basic): JP 8160991 A

The method involves determining a peak point of a waveform period on a predetermined part of an audio waveform.

The length of the wave is cut through an audio window that converges the peak point of the wave near to zero point of a predetermined part of the wave.

USE/ADVANTAGE - For e.g. audio data guide system personal computer. Prevents deterioration of tone quality. Reduces operation steps when speech synthesis is performed.

Dwg.1/19

Title Terms: AUDIO; CREATION; METHOD; AUDIO; SYNTHESISER; TELEPHONE; REFERENCE; SERVICE; CUT; LENGTH; WAVE; THROUGH; AUDIO; WINDOW; CONVERGE; WAVE; PEAK; POINT; ZERO; POINT; PREDETERMINED; PART; WAVE

Derwent Class: P86; T01; W01; W04

International Patent Class (Main): G10L-005/02; G10L-005/04; G10L-009/04; G10L-013/00

International Patent Class (Additional): G10L-003/00

File Segment: EPI; EngPI

?

*This Page Blank (uspto)*

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

JPA 8-160991

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08160991 A**

(43) Date of publication of application: **21.06.96**

(51) Int. Cl. **G10L 5/04**  
**G10L 3/00**

(21) Application number: **06302471**

(22) Date of filing: **06.12.94**

(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**

(72) Inventor: **KAMAI TAKAHIRO**  
**MATSUI KENJI**

(54) **METHOD FOR GENERATING SPEECH ELEMENT  
PIECE, AND METHOD AND DEVICE FOR SPEECH  
SYNTHESIS**

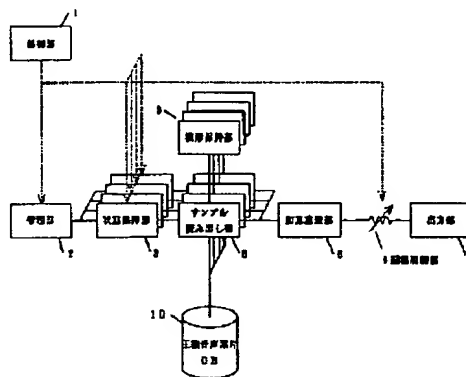
of the speech waveform, and stored in the compressed  
speech element piece DB 10.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To reduce the deterioration in speech quality and decrease the arithmetic quantity at the time of speech synthesis by cutting a pitch waveform with a window function as to all peaks in a specific section and making the length of the window function shorter than lengths to both adjacent peaks.

**CONSTITUTION:** A management part 2 is connected to plural state holding parts 3, which are connected to sample read parts 5 one to one. Further, waveform holding parts 9 are connected to sample read parts 5 one to one, and the outputs of the sample read part 5 are put together in one, inputted to a weighted superposition part 6, and passed through an amplitude control part 4 and outputted from an output part 8. Further, a compressed speech element pieces DB10 is all connected to all the sample read part 5. Then speech element piece data are generated by cutting the pitch waveform with the window function which is shorter in length than the lengths to both adjacent peaks as to any of peaks present in a pitch cycle in a specific section



**This Page Blank (uspto)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-160991

(43) 公開日 平成8年(1996)6月21日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

G10L 5/04  
3/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

F  
H

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全18頁)

(21) 出願番号 特願平6-302471

(22) 出願日 平成6年(1994)12月6日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社  
大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 釜井 孝浩

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 松井 謙二

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

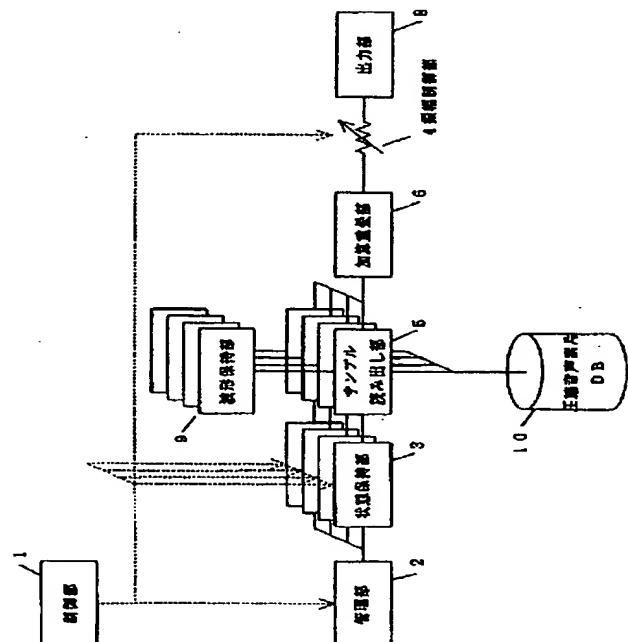
(74) 代理人 弁理士 松田 正道

(54) 【発明の名称】 音声素片作成方法及び音声合成方法、装置

(57) 【要約】

【目的】 音質劣化が少なく、音声合成時の演算量を減少させることができる音声素片作成方法及び音声合成方法、装置を提供すること。

【構成】 圧縮音声素片DB10に窓掛けを済ませた音声ピッチ素片を、隣接ピッチ間の差分を取った形で記憶しておき、状態保持部3、サンプル読み出し部5、波形保持部9の組を複数用意しておき、それぞれで圧縮音声素片DB10から差分波形を読み出しながら原波形を複合し、加算重畳部6でそれらを重ね合わせる事により目的のピッチ周期を有する音声波形を合成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 音声波形の所定の区間内のピッチ周期毎に存在するそれぞれのピークについて、前記ピークを中心として両端で零近傍に収束する窓関数でピッチ波形を切り出す切り出し操作を、前記所定の区間内の全てのピークについて行い、窓関数の長さはどのピークについてもそれらの両隣のピークに到達するよりも短いことを特徴とする音声素片作成方法。

【請求項 2】 窓関数の長さは全て同じ長さであることを特徴とする請求項 1 記載の音声素片作成方法。

【請求項 3】 窓関数の長さは音声波形のその時点でのピッチ周期の 2 倍の長さを、1 よりも小さい所定の定数で乗算した長さであることを特徴とする請求項 1 記載の音声素片作成方法。

【請求項 4】 所望の全ての音声波形について、請求項 1、2、3 のいずれかの前記音声素片作成方法を用いて音声素片データを作成し、その作成した音声素片データを記憶しておき、その記憶している音声素片データから所望の音声素片データの所望のピッチ波形を読み出し、所望のピッチ周期の間隔になるように重ね合わせて配置し、それらを加算して一つの音声波形として出力することを特徴とする音声合成方法。

【請求項 5】 窓関数の長さは各音声波形についてその音声波形のピッチ周期を表す一つの代表値を 2 倍したものを、1 よりも小さい所定の定数によって乗算した長さであることを特徴とする請求項 4 記載の音声合成方法。

【請求項 6】 音声素片データの前記記憶は、各音声素片データの最初のピッチ波形については波形そのものを記憶し、2 番目以降のピッチ波形については一つ前のピッチ波形とそのピッチ波形との変化分を表す差分ピッチ波形を記憶するものであって、ある音声素片データを読み出す場合、最初のピッチ波形は記憶されている波形をそのまま読み出すと同時に、次のピッチ波形を読み出すまでその値を一時的に記憶しておき、2 番目以降のピッチ波形は読み出した差分波形の値を前記記憶された一つ前のピッチ波形の値に加算することで波形を復元すると同時に、前記一時記憶された値を復元された波形の値で置き換えることを特徴とする請求項 4、又は 5 記載の音声合成方法。

【請求項 7】 所望の全ての音声波形について、請求項 1、2、3 のいずれかの前記音声素片作成方法を用いて作成された音声素片データを記憶する音声素片データ記憶手段と、その音声素片データ記憶手段から所望の音声素片データの所望のピッチ波形を読み出すピッチ波形読み出し手段と、その読み出されたピッチ波形を所望のピッチ周期の間隔になるように重ね合わせて配置し、それらを加算して一つの音声波形として出力する加算重畳部とを備えたことを特徴とする音声合成装置。

【請求項 8】 窓関数の長さは各音声波形についてその音声波形のピッチ周期を表す一つの代表値を 2 倍したも

のを、1 よりも小さい所定の定数によって乗算した長さであることを特徴とする請求項 7 記載の音声合成装置。

【請求項 9】 音声素片データ記憶手段は、各音声素片データの最初のピッチ波形については波形そのものを記憶し、2 番目以降のピッチ波形については一つ前のピッチ波形とそのピッチ波形との変化分を表す差分ピッチ波形を記憶するものであって、ある音声素片データを読み出す場合に、読み出された最初のピッチ波形を、次のピッチ波形が読み出されるまで、その値を一時的に記憶するピッチ波形一時記憶手段を備え、2 番目以降のピッチ波形は読み出した差分波形の値を前記ピッチ波形一時記憶手段に記憶された一つ前のピッチ波形の値に加算することで波形を復元すると同時に、前記ピッチ波形一時記憶手段に記憶された値を復元された波形の値で置き換えることを特徴とする請求項 7、又は 8 記載の音声合成装置。

【請求項 10】 時刻情報と所定の機能を表す機能情報と前記所定の機能に応じた任意の個数のパラメータとを有する制御信号の並びである制御信号列を生成し、前記制御信号の機能情報とパラメータを用いて、前記時刻情報が表すタイミングに沿って音声素片を制御することを特徴とする音声合成方法。

【請求項 11】 所定の機能はピッチ周期単位で切り出された音声素片の読み出しタイミングの制御であることを特徴とする請求項 10 記載の音声合成方法。

【請求項 12】 所定の機能は音韻ごとに用意された音声素片の切り替え制御であり、パラメータは目的の音韻に対応する音声素片を指し示す情報であることを特徴とする請求項 10、又は 11 記載の音声合成方法。

【請求項 13】 時刻情報と所定の機能を表す機能情報と前記所定の機能に応じた任意の個数のパラメータとを有する制御信号の並びである制御信号列を生成し、前記制御信号の機能情報とパラメータを用いて、前記時刻情報が表すタイミングに沿って音声素片を制御する制御手段を備えたことを特徴とする音声合成装置。

【請求項 14】 所定の機能はピッチ周期単位で切り出された音声素片の読み出しタイミングの制御であることを特徴とする請求項 13 記載の音声合成装置。

【請求項 15】 所定の機能は音韻ごとに用意された音声素片の切り替え制御であり、パラメータは目的の音韻に対応する音声素片を指し示す情報であることを特徴とする請求項 13、又は 14 記載の音声合成装置。

【請求項 16】 時刻情報と所定の機能を表す機能情報と前記所定の機能に応じた任意の個数のパラメータとを有する制御信号の並びである制御信号列を生成し、前記制御信号の機能情報とパラメータを用いて、前記時刻情報が表すタイミングに沿って音声素片を制御することを特徴とする請求項 4、5、又は 6 記載の音声合成方法。

【請求項 17】 所定の機能はピッチ波形読み出し開始指示であって、管理手段の前記ピッチ波形読み出し開始

指示により、複数のピッチ波形読み出し部の内最も古く選択されたものを選択し、ピッチ波形の読み出しを開始し、加算重畳部により、全てのピッチ波形読み出し部が読み出した値を加算して出力することを特徴とする請求項16記載の音声合成方法。

【請求項18】 パラメータは音声素片データ記憶手段に記憶されたいずれかの音声波形または差分波形を指し示すピッチ波形指定情報であり、管理手段は前記ピッチ波形指定情報が指し示すピッチ波形の読み出しを開始させることを特徴とする請求項17記載の音声合成方法。

【請求項19】 所定の機能は音声素片切り替え指示であり、パラメータは音声素片データ記憶手段に記憶されたいずれかの音声素片を指し示す情報であることを特徴とする請求項16、17、又は18記載の音声合成方法。

【請求項20】 時刻情報と所定の機能を表す機能情報と前記所定の機能に応じた任意の個数のパラメータとを有する制御信号の並びである制御信号列を生成し、前記制御信号の機能情報とパラメータを用いて、時刻情報が表すタイミングに沿って音声素片を制御する制御手段を備えたことを特徴とする請求項7、8、又は9記載の音声合成装置。

【請求項21】 一つの管理手段を備え、前記ピッチ波形読み出し手段は、複数のピッチ波形読み出し部を有するものであって、所定の機能はピッチ波形読み出し開始指示であり、前記管理手段は前記ピッチ波形読み出し開始指示により、前記ピッチ波形読み出し部の内最も古く選択されたものを選択し、ピッチ波形の読み出しを開始させ、前記加算重畳部は全てのピッチ波形読み出し部が読み出した値を加算して出力することを特徴とする請求項20記載の音声合成装置。

【請求項22】 パラメータは前記音声素片データ記憶手段に記憶されたいずれかの音声波形または差分波形を指し示すピッチ波形指定情報であり、前記管理手段は前記ピッチ波形指定情報が指し示すピッチ波形の読み出しを開始させることを特徴とする請求項21の音声合成装置。

【請求項23】 所定の機能は音声素片切り替え指示であり、パラメータは前記音声素片データ記憶手段に記憶されたいずれかの音声素片を指し示す情報であることを特徴とする請求項20、21、又は22記載の音声合成装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、電話照会サービス、音声情報案内システム、パソコン用音声規則合成装置などに適用可能な音声素片作成方法及び音声合成方法、装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】音声合成を用いたインターフェースは、

例えばパソコンなどで別の仕事をしながら説明文や電子メールを聞いたり、ワープロで作成した原稿を耳で聞きながら校正するのに用いる事ができる。また、電子ブックなどの機器に組み込む事によりフロッピーディスクやCD-ROMなどに格納されたテキストを液晶ディスプレイなどを用いずに読む事が可能となる。

【0003】このような目的に用いられる音声合成装置は小型で低価格である事が要求される。従来、このような用途にはパラメータ合成方式や圧縮録音再生方式などが用いられてきた。

【0004】前者のパラメータ合成方式は、音声をCV音節やCVC、VCV（Cは子音、Vは母音を表す）などの細かい単位で素片化し、PARCOR係数などのパラメータに変換してメモリに蓄積しておき、必要に応じて再合成する方式である。

【0005】この方式は記憶形態が音声パラメータであるため、合成時にピッチや時間長などを容易に変更できる結果、素片間をなめらかに接続しやすいという利点がある。また、記憶容量も比較的少量ですむ。一方、音声をパラメータ化する事による音質劣化が大きいという欠点がある。

【0006】又、後者の圧縮録音再生方式は、上記の音質劣化を防ぐため、音声を圧縮符号化してメモリに蓄積しておき、必要に応じて再生する方式である。圧縮符号化には $\mu$ -L a w コーディングやADPCM等が用いられる。

【0007】合成する音声の内容が少数に限られているのであれば、文単位や文節単位、単語単位で録音しておき、適当に編集すれば良い。しかし、任意のテキストを合成するためにはパラメータ合成方式と同様にさらに細かい音声素片の形で蓄積しておかなければならない。また、パラメータ合成と違ってピッチや時間長の変更が困難であるため、高品質の合成のためには様々なピッチと時間長をもった素片を用意しなくてはならない。

【0008】このような理由から圧縮録音再生方式はパラメータ合成方式の数倍から数十倍の大きな記憶容量が必要となる。しかし、原理的には大容量の記憶装置を持つ事により極めて高品質な音声を合成する事ができる。

【0009】上記のように高品質の音声合成方式には圧縮録音再生方式が有利であるが、音声素片に固有のピッチと時間長を制御する事ができないことと、大容量の記憶装置が必要になることが問題である。

【0010】この問題を解決するために、音声波形をピッチに同期して窓関数で切り出し、合成時に所望のピッチ周期になるように重ね合わせを行う方法が考案されている（特表平3-501896）。

【0011】切り出しの位置は声門の閉鎖による励振パルスのピークを窓関数の中心とする。窓関数の形状は両端で0にまで減衰するもの（例えばHanning窓）を用いる。窓長は、音声波形の原ピッチ周期よりも合成ピッチ

周期を短くする場合は合成ピッチ周期の2倍であり、逆に合成ピッチ周期を長くする場合は原ピッチ周期の2倍である。また、切り出されたピッチ波形を間引く、あるいは繰り返すことにより時間長の制御も可能となる。

【0012】上記方法によれば、一つの音声素片から任意のピッチと時間長の波形を合成できるため、高品質の合成音を圧縮録音再生方式に比べて少ない記憶容量で得ることができる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、従来の技術は圧縮録音再生方式に比較して少ない記憶容量で高品質の合成音を得ることができる。しかしながら、上記のような方法では、音声合成時の演算量が多いという課題がある。それは、合成時にピッチ波形を窓関数を用いて切り出すことが必要であり、三角関数の計算と乗算が頻繁に行われるからである。

【0014】例えば、合成波形を1サンプル合成するために必要な演算は、以下の通りである。ピッチ波形を1サンプル生成するためには、音声素片を読み出すためのメモリ読み出しが1回、Hanning 窓関数の計算に必要な三角関数の計算が1回および加算が1回（三角関数に直流オフセットを与えるため）、三角関数に与える角度の計算のための乗算が1回、三角関数の値を用いて音声波形に窓掛けを行うための乗算が1回である。ピッチ波形が二つ重ね合わせられて合成波形が作られるので、合成波形1サンプルあたりメモリアクセス2回、三角関数の計算が2回、乗算が4回、加算が3回となる（図19参照）。

【0015】本発明は、従来の音声合成におけるこのような課題を考慮し、音質劣化が少なく、音声合成時の演算量を減少させることができる音声素片作成方法及び音声合成方法、装置を提供することを目的とするものである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明は、音声波形の所定の区間内のピッチ周期毎に存在するそれぞれのピークについて、ピークを中心として両端で零近傍に収束する窓関数でピッチ波形を切り出す切り出し操作を、所定の区間内の全てのピークについて行い、窓関数の長さはどのピークについてもそれらの両隣のピークに到達するよりも短い音声素片作成方法である。

【0017】また本発明は、所望の全ての音声波形について、請求項1、2、3のいずれかの音声素片作成方法を用いて音声素片データを作成し、その作成した音声素片データを記憶しておき、その記憶している音声素片データから所望の音声素片データの所望のピッチ波形を読み出し、所望のピッチ周期の間隔になるように重ね合わせて配置し、それらを加算して一つの音声波形として出力する音声合成方法である。

【0018】また本発明は、所望の全ての音声波形につ

いて、請求項1、2、3のいずれかの音声素片作成方法を用いて作成された音声素片データを記憶する音声素片データ記憶手段と、その音声素片データ記憶手段から所望の音声素片データの所望のピッチ波形を読み出すピッチ波形読み出し手段と、その読み出されたピッチ波形を所望のピッチ周期の間隔になるように重ね合わせて配置し、それらを加算して一つの音声波形として出力する加算重畳部とを備えた音声合成装置である。

【0019】また本発明は、時刻情報と所定の機能を表す機能情報と所定の機能に応じた任意の個数のパラメータとを有する制御信号の並びである制御信号列を生成し、制御信号の機能情報とパラメータを用いて、時刻情報が表すタイミングに沿って音声素片を制御する音声合成方法である。

【0020】また本発明は、時刻情報と所定の機能を表す機能情報と所定の機能に応じた任意の個数のパラメータとを有する制御信号の並びである制御信号列を生成し、制御信号の機能情報とパラメータを用いて、時刻情報が表すタイミングに沿って音声素片を制御する制御手段を備えた音声合成装置である。

【0021】

【作用】本発明は、音声波形の所定の区間内のピッチ周期毎に存在するそれぞれのピークについて、どのピークについてもそれらの両隣のピークに到達するよりも短い長さの窓関数でピッチ波形を切り出して音声素片データを作成する。

【0022】また本発明は、所望の全ての音声波形について、音声素片データを作成して記憶しておき、その記憶している音声素片データから所望の音声素片データの所望のピッチ波形を読み出し、所望のピッチ周期の間隔になるように重ね合わせて配置し、それらを加算して一つの音声波形として出力する。

【0023】また本発明は、制御信号の並びである制御信号列を生成し、制御信号の機能情報とパラメータを用いて、時刻情報が表すタイミングに沿って音声素片を制御する。

【0024】

【実施例】以下に、本発明をその実施例を示す図面に基づいて説明する。

【0025】図1は、本発明にかかる第1の実施例の音声合成装置の構成図である。すなわち、その音声合成装置には制御手段である制御部1が設けられ、その出力は管理手段である管理部2、複数設けられた状態保持部3、振幅制御部4に接続されている。管理部2は複数の状態保持部3に接続され、その複数の状態保持部3は複数設けられたピッチ波形読み出し部であるサンプル読み出し部5に一对一に接続されている。その複数のサンプル読み出し部5の出力は加算重畳部6の入力に接続され、その出力は振幅制御部4に接続されている。その振幅制御部4の出力は出力部8に接続され、電気信号から



音響振動に変換されて音として出力される。また、複数のサンプル読み出し部5には、一つの音声素片データ記憶手段である音声素片DB7が接続されている。

【0026】次に上記のように構成された音声合成装置の動作についてフローチャートを参照しながら説明する。図2は、制御部1を中心とした全体の処理の流れを表したフローチャートである。

【0027】制御部1はまず、ローマ字表記やカタカナなどの発音記号にアクセントおよび区切り情報を付加したものを入力として受け取る(ステップS1)。次にそれを解析し、結果を音節ごとにバッファに格納する(ステップS2)。図3は、音節バッファのデータ構造である。音節ごとに音節ID、フレーズ長、アクセントレベル、デュレーション、開始ピッチ、中央ピッチなどのデータフィールドを持ち、一度に入力される音節数(例えば一行分)を格納できる長さを持った配列になっている。

【0028】制御部1は入力を解析し、音節ID、フレーズ長、アクセントレベルを設定する。音節IDは「あ」や「か」などの音節を特定するための番号である。フレーズ長は入力の区切り記号で囲まれた範囲内の音節数を示す数値で、フレーズが始まる音節のフィールドにその数値が設定される。アクセントレベルはアクセントの強さを表し、フレーズごとに0個または1個存在する。

【0029】例えば「音声合成」という言葉を言語処理した結果である「オンセエ/ゴ1オセエ」(/は区切り記号、1はアクセントレベル)と言う記号列を入力したときに音節ID、フレーズ長、アクセントレベルが設定される様子を図4に示す。フレーズ長はフレーズの先頭の音節にセットされる。

【0030】次に上記で設定されたフレーズ長とアクセントレベルの情報を元に韻律情報を設定する(ステップS3)。韻律情報の設定はデュレーション(ここでは音節の持続時間)の設定とピッチの設定に分かれる。デュレーションはあらかじめ決めておいた発話速度と、音節の前後関係などを考慮した規則によって決定される。また、ピッチは藤崎モデルなどのピッチ生成方法により生成したものを、音節の開始部と中央部の2カ所の値で表す。先ほどの「オンセエ/ゴ1オセエ」の入力に韻律情報が設定される様子を図5に示す。

【0031】こうして生成された音節バッファを順番に一つずつ読み出し、イベントリストを生成する(ステップS5)。もし、音節バッファの残りがなくなっていたら(ステップS4)、処理を終了する。イベントリストは、音声波形合成部に対して直接指示を与えるための機能情報であるイベントと呼ぶ情報の配列で、図6に示す構造になっている。各イベントは次のイベントまでの間隔である「イベント間隔」を時刻情報として持っているため、イベントリストは時間軸に沿った制御情報として

機能する。

【0032】イベントの種類には「SC (Segment Change: 音声素片切り替え)」、「TG (Trigger: トリガー)」などがある。「SC」は音声素片を音節IDが示す音節種類に対応したものへ切り替える指示である。

【0033】また、それぞれのイベント種類によってデータが付与される。「SC」はパラメータとしての「音声素片ID」、「TG」は「ピッチID」をデータに持つ。「音声素片ID」は各音節に対応した音声素片を指す番号、「ピッチID」は各音声素片中のピッチ周期ごとに切り出された波形(ピッチ波形)を指す番号である。

【0034】音節バッファを一つ読み出したら、音節IDを参照し、対応する音声素片IDをデータに設定し、「SC」イベントを生成する。イベント間隔は0でよい。

【0035】次に、「TG」イベントを生成する。その前に音声素片DB7に格納された音声素片のデータ構造について説明する。

【0036】図7は、音声素片のデータ構造の説明図である。音声素片は一つの初期波形と複数のピッチ波形に分かれている。例えば「カ」という音節の冒頭には、声帯振動がなくピッチを持たない無声音区間がある。この部分は子音の「k」が調音されている部分である。このような場所は合成時にピッチ制御の必要がないので、そのまま波形として保持しておく。これを初期波形と呼ぶ。

【0037】このような初期波形は「k」「s」「t」などの無声音だけでなく、「g」「z」「d」などの有声音でも使用される。例えば「z」などの場合は雑音性が強いことや、他の有声音でも立ち上がり時はピッチが不安定であるためにピッチ波形が切り出しにくいためである。そこで、冒頭の短い区間を初期波形として切り出しておく。

【0038】「k」の区間が終了すると声帯の振動が開始し、有声音区間に入る。このような区間にはピッチ周期に対応する波形のピークを中心にHanning窓で切り出すことにより、ピッチ周期ごとに分離して保持しておく。これをピッチ波形と呼ぶ。

【0039】それぞれの音声素片のデータは「初期波形の長さ」、「初期波形のポインタ」、「ピッチ波形の個数」、そして、複数の「ピッチ波形」からなる構造である。「ピッチ波形」の大きさは前述したHanning窓の窓長を収めるのに必要十分な大きさとする。後述するように窓長はピッチ周期の2倍より小さい値であり、その大きさの決め方は精密さを要しない。全ての音声素片の全てのピッチ波形について均一にしても良いし、音声素片ごとに別の値にしても良いし、各ピッチ波形ごとに別々の値でも良い。いずれの方法にしても窓長のばらつきは小さい。従って、配列である「ピッチ波形」を複数集め

た 2 次元配列の形式を取ることは記憶領域を有効に使用する。

【0040】この構造体の配列を作り、必要な全ての音声（音節）に対する音声素片を蓄積しておく。また、初期波形は別の領域にまとめて記憶しておく。初期波形は音声素片によって長さが不均一のため、音声素片の構造体に含めると記憶容量が無駄になるので、一次元配列として別の連続した領域に格納した方がよい。

【0041】このような音声素片を用意したという前提で、先ほどの「TG」イベントの生成の説明に戻る。

【0042】「TG」イベントのデータには「ピッチ ID」をセットする。最初の「TG」イベントのデータには初期波形を表す 0 を設定する。イベント間隔は「初期波形の長さ」から先ほどの窓長の 2 分の 1 を引いたものである。

【0043】次に、続けて「TG」イベントを生成する。この「TG」イベントのデータには最初のピッチ波形を表す 1 をセットする。イベント間隔はそのピッチ波形が合成時に用いられる位置でのピッチ周期である。ピッチ周期は音節バッファのピッチ情報（開始ピッチと中央ピッチ）から内挿によって求める。

【0044】同様に、続けて「TG」イベントを 1 音節分生成する。各「TG」イベントのデータである「ピッチ ID」は、ピッチ波形のものと音声波形中の位置と合成時の音節中の位置が最も近くなるように選ぶ。即ち、もとの音声波形のピッチと合成時のピッチが同じならばピッチ ID は 0, 1, 2, , , と一つずつ増加するが、合成時のピッチの方が高い場合は 0, 1, 1, 2, 3, 3, , , というように同じ番号を何度か繰り返す。逆に合成時のピッチの方が低い場合は 0, 1, 3, 4, 6, , , というように、途中の番号を間引く。こうする事により合成時のピッチ制御により音声素片の時間長が変化することを防ぐ。図 8 に音節「オ」に対してイベントリストが生成される様子を示す。

【0045】一音節分のイベントリストが生成されたら次の段階に移り、イベント読み出しおよび合成制御の処理を行う（ステップ S 7）。この処理を詳しく説明したフローチャートを図 9 に示す。図 9 において、イベントを 1 つ取り出し（ステップ S 11）、そのイベント種類が「SC」であるか否かを判定し（ステップ S 12）、  
「SC」であれば音声素片切り替え処理を実行し（ステップ S 13）、  
「SC」でなければ、イベント種類が「TG」であるか否かを判定し（ステップ S 14）、  
「TG」であればトリガー処理を実行する（ステップ S 15）。その後、次のイベントを読み出す時期が来たかどうかを判定し（ステップ S 8）、来るまで音声波形合成の処理を繰り返し行い（ステップ S 9）、更に、イベントリストが終了するまでイベント読み出しから音声波形合成までを繰り返す。

【0046】図 9 の中の音声素片切り替え処理、およびトリガー処理については後述する。これらの処理は各イ

イベントを持つイベント間隔に従って行われるので、ピッチの制御など時間情報に基づいた処理が行われる。すなわち、あるイベントを読み出した時、イベント間隔が 20 であったら、次の処理である音声波形合成を 20 回実行した後、次のイベントを読み出す。音声波形合成処理では 1 サンプルの音声波形を合成する。「TG」イベントのイベント間隔はピッチ周期になっているので「TG」イベントに従ってピッチ波形を読み出す事により、目的のピッチ周期を持った音声波形が合成される。目的のピッチを持った音声波形が合成される様子を図 10 に示す。

【0047】次に音声波形合成処理の詳細について説明する。管理部 2 は「音声素片 ID」の管理を行うと共に、複数設けられた状態保持部 3 とサンプル読み出し部 5 の組（エレメントと呼ぶ）の内、どのエレメントを次に使用するかを表す「エレメント ID」の管理を行う。各エレメントの状態保持部 3 は現在の「ピッチ ID」、ピッチ波形の「先頭アドレス」および「最終アドレス」、現在読み出し中のアドレスを表す「読み出しアドレス」を保持している。サンプル読み出し部 5 は状態保持部 3 から「読み出しアドレス」を取り出し、それが「最終アドレス」を越えていなければ音声素片 DB 7 の該当アドレスから音声素片を 1 サンプル読み出す。その後、状態保持部 3 の「読み出しアドレス」を一つ加算する。加算重畳部 6 は全てのエレメントのサンプル読み出し部 5 の出力を加算して出力する。この出力は振幅制御部 4 によって振幅の制御を受け、出力部 8 により音響振動に変換されて音声として出力される。

【0048】図 9 の中の音声素片切り替え処理では、管理部 2 の「音声素片 ID」を与えられた音節 ID に対応するものに変更する。

【0049】また、トリガー処理では、管理部 2 の「エレメント ID」を循環的に更新する。すなわち、図 11 に示すように、まず、「エレメント ID」に 1 を加算し（ステップ S 21）、それがエレメントの個数に達したかどうかを判断し（ステップ S 22）、達していたら 0 にリセットする（ステップ S 23）。次に、イベントデータからピッチ ID を取り出し（ステップ S 24）、更に管理部 2 から「音声素片 ID」を取り出し（ステップ S 25）、対応する音声素片の対応するピッチ波形の先頭アドレスを取得して（ステップ S 26）、状態保持部 3 の「先頭アドレス」にセットする。また、「読み出しアドレス」をピッチ波形先頭アドレスで初期化し（ステップ S 27）、更に、あらかじめ決められたピッチ波形の長さを用いて、「最終アドレス」を設定する（ステップ S 28）。

【0050】図 12 は、本実施例における音声素片の作成方法を表したものである。同図で再上段は音声素片のもととなる音声波形を表している。Ps は開始マーク、P0, P1, , , はピッチに対応するピークに付けられたピッ

チマーク、 $W_0, W_1, \dots$  は切り出し窓長を表す。 $S_0, S_1, \dots$  は切り出された波形である。 $S_1$ 以降は1ピッチ周期ごとに切り出したピッチ波形であるが、 $S_0$ は初期波形であり、開始マークから $P_0$ までとそれ以降 $W_0/2$ の長さまでを切り出した波形である。 $P_0$ 以降はHanning窓の後半、それ以前は矩形窓である。また、 $S_1$ 以降の素片はHanning窓によって切り出される。

【0051】Hanning窓の窓長である $W_n$  ( $n=0, 1, 2, \dots$ ) は例えば(数1)のように、全ての音声波形に対してピッチ周期の代表値(例えば平均値)を用いて一律に決め

ても良いし、

【0052】

【数1】 $W_n = T_{1,1} \times R$  ( $T_{1,1}$ は全ての音声のピッチ周期の平均)

(数2)のように、各音声波形ごとにピッチ周期の代表値(例えば平均値)を用いて決めても良いし、

【0053】

【数2】

$W_n = T_{1,n} \times R$  ( $T_{1,n}$ は各音声のピッチ周期の平均)

(数3)・(数4)のように、各ピッチ波形ごとにその近隣のピッチ周期から個別に決定しても良い。

【0054】

【数3】 $W_n = (T_n + T_{n+1}) / 2 \times R$ , for  $n \geq 1$

【0055】

【数4】 $W_0 = T_1 \times R$

ここで、 $R$ はピッチ周期に対する窓長の比で、例えば、4前後を用いる。その理由について次に説明する。

【0056】図13は、ある音声の時間波形(上段)と、そのFFTスペクトルおよびLPCスペクトル包絡(下段)である。サンプリング周波数 $f_s$ は(数5)で

あり、

【0057】

【数5】 $f_s = 10\text{kHz}$

分析窓長 $W$ は(数6)であり、

【0058】

【数6】 $W = 512$

線形予測次数 $M$ は(数7)である。

【0059】

【数7】 $M = 12$

窓関数はHanning窓である。また、この音声のピッチ周期 $T$ は(数8)であり、時間波形の2478点目から2990点目が分析対象区間である。

【0060】

【数8】 $T = 108$

FFTスペクトルは高調波のために櫛状の周期的な構造をしており、これがピッチとして知覚される。また、LPCスペクトル包絡はFFTスペクトルのピークを結ぶようななめらかな形状をしており、この形状により音韻が知覚される。

【0061】図14は、同音声の時間波形(上段)と、

$W = 2T$ (窓長がピッチ周期の2倍)の時のFFTスペクトル(下段)である。時間波形の2438点目から2653点目が分析対象区間である。この時のFFTスペクトルは櫛状の構造を失い、スペクトル包絡を表している。これはHanning窓の周波数特性が元のスペクトルに畳み込まれるためである。

【0062】すなわち、図13に示した原スペクトルは $f_s/T$ の間隔で櫛状の周期的な構造をしている。一方、窓長 $W$ のHanning窓の周波数特性は、メインローブの帯域幅 $B$ が(数9)である。

【0063】

【数9】 $B = 2f_s / W$

また、 $W = 2T$ の時の $B$ は(数10)となり、これと音声スペクトルとを畳み込む事により、ちょうど高調波の間を埋める効果がある。

【0064】

【数10】 $B = f_s / T$

このような理由から、 $W = 2T$ のHanning窓で切り出されたピッチ波形は原音声のスペクトル包絡に近いスペクトルを有する。こうして切り出された波形を新たなピッチ周期 $T'$ で再配置、重畳する事によって所望のピッチ周期の音声合成される。

【0065】 $W < 2T$ の時は $B > f_s / T$ となるため、音声のスペクトルと畳み込んだとき、スペクトル包絡に歪を生ずる。 $W > 2T$ の場合は $B < f_s / T$ となり、音声のスペクトルと畳み込んだとき、十分に高調波の間を埋める効果がなく、そのスペクトルは元の音声の高調波構造を含んだものとなる。このような場合は、目的のピッチ周期で再配置、重畳しても元の音声波形の持つピッチの情報が残存しているため、エコーに似た音が発生する。

【0066】先行文献(特表平3-501896)は上記の性質を利用し、原音声のピッチ周期 $T$ と目的のピッチ周期 $T'$ の関係が $T < T'$ の時は $W = 2T$ 、 $T > T'$ の時は $W = 2T'$ とする事で高品質なピッチ変更を実現していた。 $T > T'$ の時、すなわちピッチを上げるときに原音声のピッチ周期ではなく合成ピッチ周期の2倍の窓長を用いるのは、切り出しピッチ波形の重なり合いが多くなる事を防ぐためであると思われる。余り多くのピッチ波形が重なり合うと互いの影響が強くなり音質劣化を引き起こす。

【0067】先ほど $W < 2T$ の時は切り出されたピッチ波形は元の音声スペクトルに対して歪を持っていると述べた。しかし、 $2T$ に比べて極端に $W$ が小さくない場合はその歪は許容できる。もし、固定の $W$ で全ての合成ピッチの範囲をカバーできれば先行文献のように合成時に窓掛けを行わなくても、事前に窓掛けを済ませた音声素片を用意しておくことにより、合成時にはピッチ波形の重ね合わせ処理のみで済むので、計算量を減らす事ができる。

【0068】固定の窓長を用いる場合、ピッチを上げて行ったときに多くのピッチ波形が重なり合う事により歪が発生する。このような観点からはWは小さい方がよい。

【0069】そこで、切り出されたピッチ波形のスペクトル歪が許容できる程度に長く、かつ合成ピッチが高い場合の重なり合いによる歪が許容できる程度に短い窓長を選ぶことで最適な窓長Wを決定する事ができる。

【0070】Wの範囲としては原音声にもよるが、1.2 Tから1.6 T程度の範囲に最適値がある事が多い。たとえばW=1.4 Tの時の切り出しピッチ波形のスペクトルを図15に示す。図13の原スペクトルの包絡を十分に表しており、図14のW=2 Tの場合と比べても遜色のないスペクトル形状を示しているばかりか、むしろこちらの方がスペクトル包絡としては優れている（高調波構造が除去されている）。そして、W=2 Tと比べてピッチ上昇時のピッチ波形の重なり度合いは軽減されている。

【0071】以上のような方法により、合成時の計算は事実上加算演算のみとなり、きわめて少ない演算処理量で高品質の音声を合成することが可能である。

【0072】合成波形を1サンプル合成するために必要な演算は以下の通りである。ピッチ波形を1サンプル生成するためには、音声素片を読み出すためのメモリ読み出しが1回だけ必要である。エレメントの出力を重畳するための加算回数はエレメント数-1である。したがって、エレメント数をnとすると合成波形1サンプルあたりメモリアクセスn回、加算(n-1)回である。仮にn=4とするとメモリアクセス4回、加算3回である。

【0073】次に、本発明にかかる第2の実施例について説明する。図16は本発明の第2の実施例の音声合成装置の構成図である。その音声合成装置には制御部1が設けられ、その出力は管理部2、複数の状態保持部3、振幅制御部4に接続されている。管理部2は複数の状態保持部3に接続され、それらの状態保持部3は同じ数設けられたサンプル読み出し部5に一对一に接続されている。また、波形保持部9がサンプル読み出し部5と同じ数だけ設けられ、サンプル読み出し部5と一对一に接続され、その複数のサンプル読み出し部5の出力は一つにまとめられ加算重畳部6に入力されている。その加算重畳部6の出力は振幅制御部4に入力され、その出力は出力部8に入力されている。また、圧縮音声素片DB10が設けられ、全てのサンプル読み出し部5に接続されている。

【0074】圧縮音声素片DB10には、図17に示すような形式で音声素片が記憶されている。すなわち、

「初期波形の長さ」と「初期波形のポインタ」、「ピッチ波形の個数」が図7と同様に記憶されているが、「ピッチ波形」の代わりに「第1ピッチ波形」と複数の「差分波形」が記憶されている。「初期波形記憶領域」に関

しては図7と同様である。

【0075】「差分波形」は、図7における「ピッチ波形」の隣合った物同士の差を取ったデータである。全てのピッチ波形はピークを中心に切り出されているのでこれらの差分は隣接ピッチ間の波形変化を表している。音声波形の場合は隣接ピッチ間の相関が強いので、差分波形はきわめて振幅の小さい物となる。したがって、記憶領域に割り当てる一語あたりのビット数を数ビット減らすことが可能である。また、符号化方法によっては二分の一や四分の一まで減らすことができる。

【0076】このような形式で記憶された圧縮音声素片DB10を用いて実際に波形を読み出し音声波形を合成する手順について説明する。1サンプルの合成処理につき全てのエレメントで順番にサンプル読み出し処理が行われる。

【0077】まず、音声素片切り替え処理およびトリガー処理が行われた直後にサンプル読み出し処理に入ったと仮定する。図18において、初期波形が否か判定し（ステップS101）、初期波形が終了であれば第1ピッチ波形の処理に移り（ステップS102、S103）、終了でなければ（ステップS102）、状態保持部3の「ピッチID」は初期波形を指しているので初期波形から1サンプル読み出し（ステップS104）、加算重畳部へ出力する（ステップS105）。同時に状態保持部3の「読み出しアドレス」を一つ加算して（ステップS106）処理を終わる。以後の処理では「読み出しアドレス」が「最終アドレス」を越えていなければ同様の処理を行い、越えていれば何もしない。

【0078】次に、それ以後の「TG」イベントに続いてサンプル読み出し処理に入ったとする。状態保持部3の「ピッチID」は当然初期波形以外を指している。最初は第1ピッチ波形を指す（ステップS107）。したがって、第1ピッチ波形から1サンプル読み出す（ステップS110）。もし第1ピッチ波形終了であれば差分波形の処理に移る（ステップS109）。アドレスの更新は上記と同様であるが、読み出した値を波形保持部9に一時記憶する（ステップS111）。波形保持部9はピッチ波形一つ分の記憶領域であり、第1ピッチ波形の先頭から数えてn番目から読み出された値は、波形保持部9の先頭から数えてn番目に記憶される。そして、同じ値を加算重畳部6に出力し（ステップS112）、次のサンプルの処理に移る（ステップS113）。

【0079】次に、「ピッチID」が差分波形を指していれば（ステップS114）、差分波形から1サンプル読み出す（ステップS116）。ここで、もし1つの差分波形終了の場合は、次の差分波形の処理に移る（ステップS115）。アドレスの更新は上記と同様である。差分波形の場合は読み出した値と波形保持部9に記憶されていた値を加算する（ステップS117）。こうすることで差分波形から原波形を復元することができる。こ

の値を波形保持部 9 に再び記憶しておき (ステップ S 1 1 7)、加算重畳部 6 へも出力する (ステップ S 1 1 8)。そして次のサンプルの処理に移る (ステップ S 1 1 9)。

【0080】以上のように、ピッチ波形を差分波形の形で蓄積することにより記憶容量を大きく削減することが可能である。また、そのために第 1 の実施例に比べて余分に必要となる構成要素と計算は、1 エLEMENT あたり一つの 1 ピッチ波形分のメモリとサンプル読み出し処理 1 回につき加算、メモリから 1 語読み出し、メモリへ 1 語格納が各 1 回と、ごくわずかである。合成波形を 1 サンプル合成するために必要な演算は、以下の通りである。ピッチ波形を 1 サンプル生成するためには、差分波形を読み出すためのメモリ読み出しが 1 回、それを波形保持部 9 の値と加算して原波形を復元するためのメモリ読み出しと加算がそれぞれ 1 回、その値を再び波形保持部 9 に記憶するためのメモリ書き込みが 1 回である。ELEMENT 数を  $n$  とすると、合成波形 1 サンプルあたり、メモリアクセス  $3n$  回、加算が  $n + (n - 1)$  回 ( $n$  個の ELEMENT 出力を重畳するための加算演算は  $n - 1$  回) である。仮に  $n$  が 4 ならば、合成波形 1 サンプルあたり、メモリアクセス 12 回、加算 15 回となる。

【0081】図 19 に従来技術と本発明の演算量の比較を示す。

【0082】なお、上記実施例では、いずれも窓関数に Hanning 窓を用いたが、これに限らず、他の形状のものを用いても構わない。

【0083】また、上記実施例では、いずれもイベント種類としては「SC」(音声素片切り替え)と「TG」(トリガー)のみを用いたが、これに限らず、その他の例えば振幅制御情報や別話者の音声から作成した音声素片セットへの切り替え情報などを使用することもできる。

【0084】また、上記実施例では、いずれも加算重畳によるピッチ変更は音声素片に対して用いたが、これに限らず、例えばフォルマント合成における声帯音源波形のピッチ変更などに用いてももちろん構わない。

【0085】以上のように、音声素片作成時に窓掛けを済ませておくことにより、合成時の演算量を飛躍的に減少させることが出来、かつ、そのための音質劣化を少なく抑えることができる。また、ピッチ波形間の差分を取ることによって効果的に音声素片を圧縮することが出来、従来の技術よりも更に少ない記憶容量で実施することができる。また、音声素片を圧縮したことによる合成時の演算量や装置規模の増大は極めて少ない。

【0086】このように、演算量が極めて少なく、かつ装置規模も小さいために、小型の高品質音声合成装置への応用が可能となる。

【0087】

【発明の効果】以上述べたところから明らかなように本

発明は、音質劣化が少なく、音声合成時の演算量を減少させることができるという長所を有する。

【0088】また、ピッチ波形の差分を取って音声素片を圧縮することにより、記憶容量を少なくできるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明にかかる第 1 の実施例の音声合成装置の構成図である。

【図 2】同第 1 の実施例における制御部を中心とした全体の処理のフローチャートである。

【図 3】同第 1 の実施例における音節バッファのデータ構造を示す図である。

【図 4】同第 1 の実施例における音節バッファに音節 ID、フレーズ長、アクセントレベルが設定される様子を説明する図である。

【図 5】同第 1 の実施例における音節バッファに韻律情報が設定される様子を説明する図である。

【図 6】同第 1 の実施例におけるイベントリストのデータ構造を示す図である。

【図 7】同第 1 の実施例における音声素片 DB における音声素片のデータ構造を示す図である。

【図 8】同第 1 の実施例における音節「オ」に対してイベントリストが生成される様子を説明する図である。

【図 9】同第 1 の実施例におけるイベント読み出しおよび合成制御の部分のフローチャートである。

【図 10】同第 1 の実施例における目的のピッチを持った音声合成される様子を説明する図である。

【図 11】同第 1 の実施例におけるトリガー処理のフローチャートである。

【図 12】同第 1 の実施例における音声波形から音声素片を作成する様子を説明する図である。

【図 13】原音声波形のスペクトルを示す図である。

【図 14】窓長がピッチ周期の 2 倍の時のスペクトルを示す図である。

【図 15】窓長がピッチ周期の 1.4 倍の時のスペクトルを示す図である。

【図 16】本発明にかかる第 2 の実施例の音声合成装置の構成図である。

【図 17】同第 2 の実施例における圧縮音声素片 DB における音声素片のデータ構造を示す図である。

【図 18】同第 2 の実施例におけるサンプル読み出し部の処理を表すフローチャートである。

【図 19】演算量の比較を示す図である。

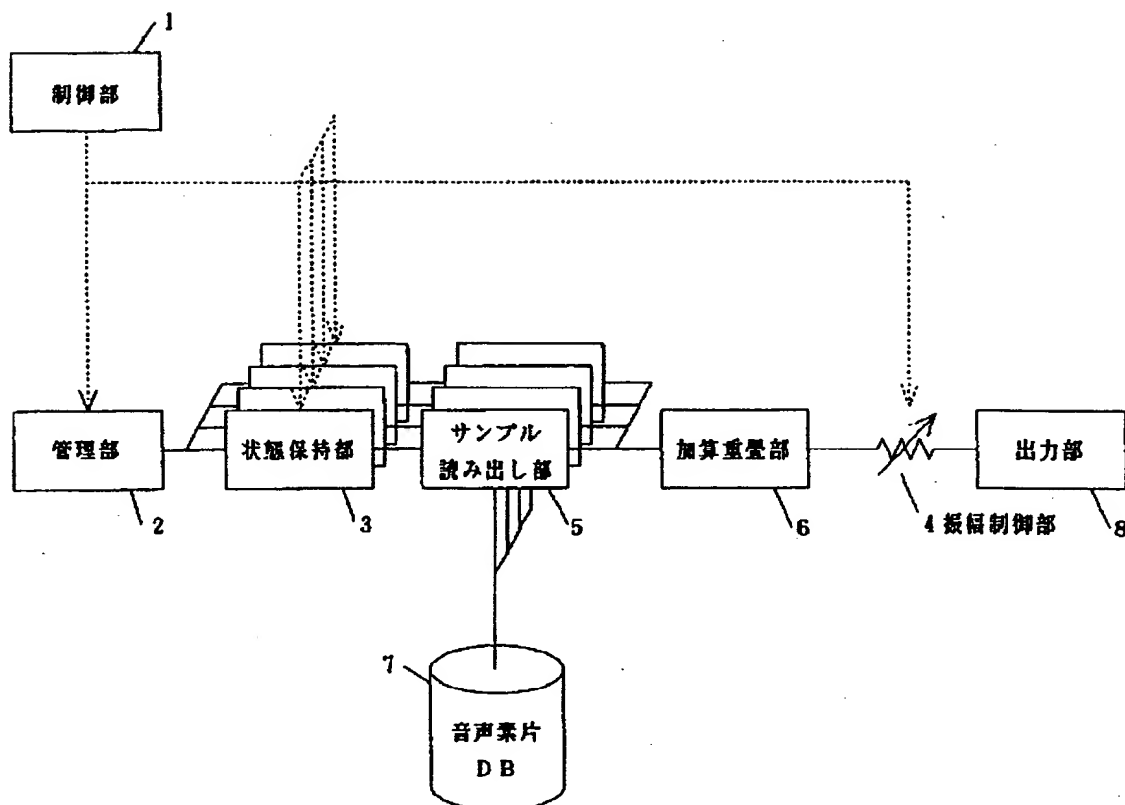
【符号の説明】

- 1 制御部
- 2 管理部
- 3 状態保持部
- 4 振幅制御部
- 5 サンプル読み出し部
- 6 加算重畳部

7 音声素片 DB  
8 出力部

9 波形保持部  
10 圧縮音声素片 DB

【図 1】



【図 3】

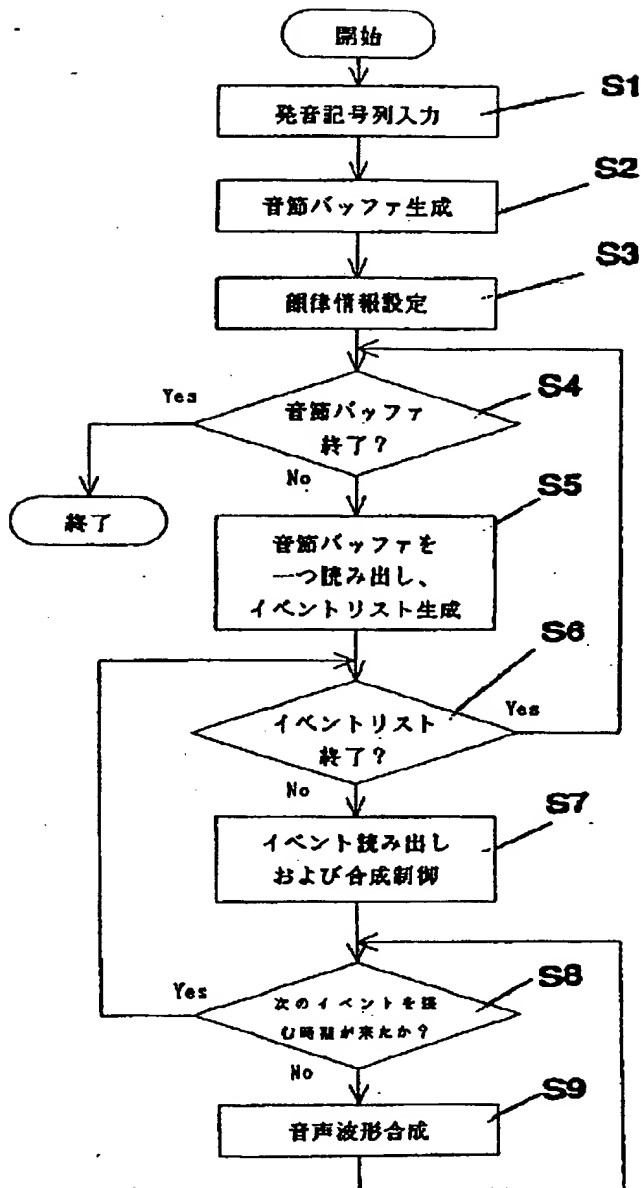
音節 ID	
フレーズ長	
アクセントレベル	
デュレーション	
開始ビッチ	
中央ビッチ	

【図 4】

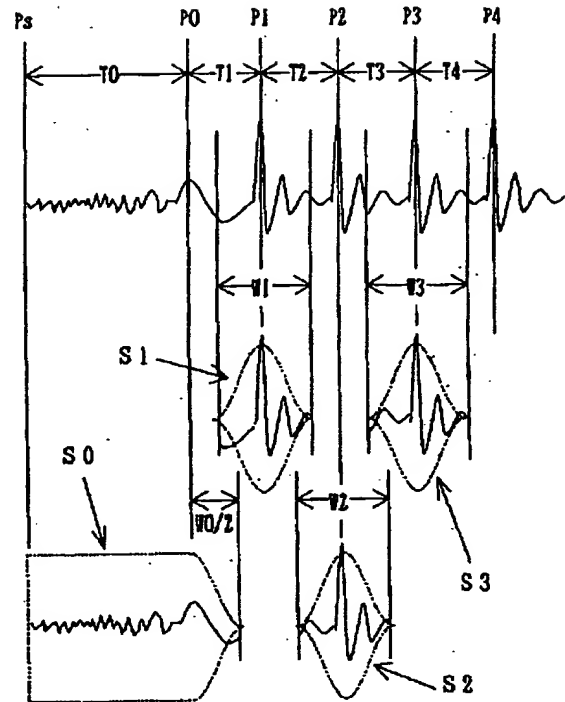
入力: オンセエ / ゴ1 オセエ

記号	オ	ン	セ	エ	ゴ	オ	セ	エ
音節 ID	4	47	15	9	52	4	15	3
フレーズ長	4	0	0	0	4	0	0	0
アクセントレベル	0	0	0	0	1	0	0	0

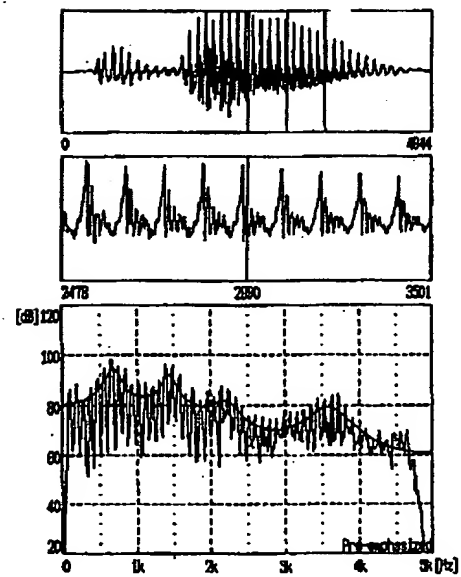
【図 2】



【図 1 2】



【図 1 3】



【図5】

入力: オンセエ/ゴ1 オセエ

記号	オ	ン	セ	エ	ゴ	オ	セ	エ
音節ID	4	47	15	3	52	4	15	3
フレーズ長	4	0	0	0	4	0	0	0
アクセントレベル	0	0	0	0	1	0	0	0
デュレーション	160	130	140	130	120	140	140	170
開始ピッチ	90	110	120	122	120	100	96	88
中央ピッチ	100	116	121	121	110	98	92	86

【図6】

イベント種類	
イベント間隔	
データ1	
データ2	

イベント

イベントリスト

イベント種類:

SC: 音声素片切り替え

TG: トリガー

など

データ:

SC:

データ1: 音声素片ID

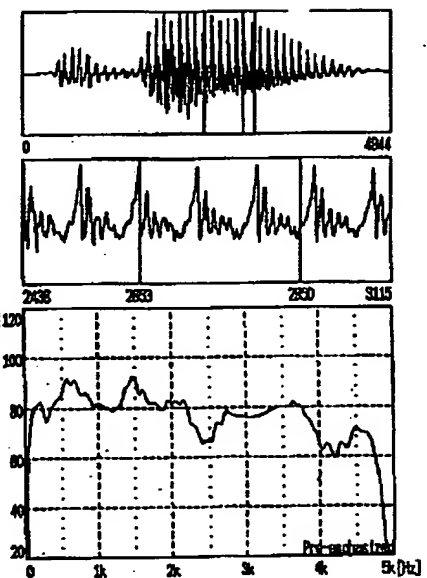
データ2: 以降なし

TG:

データ1: ピッチID

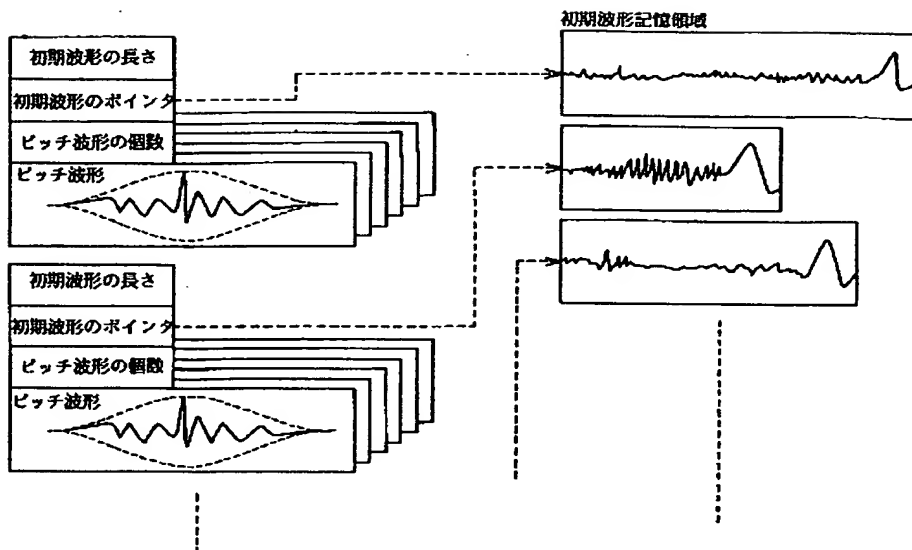
データ2: 以降なし

【図14】





【図 7】

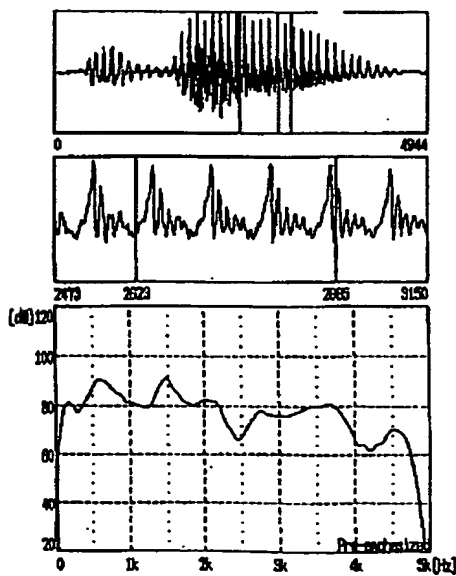


【図 8】

イベント種類	SC	TG	TG	TG	TG	TG	TG	TG	TG	TG	TG
イベント間隔	0	830	103	106	103	101	99	97	95	93	92
データ 1	4	0	1	2	3	4	4	5	6	6	7

↑ イベント間隔は初期波形の長さによって決められる。

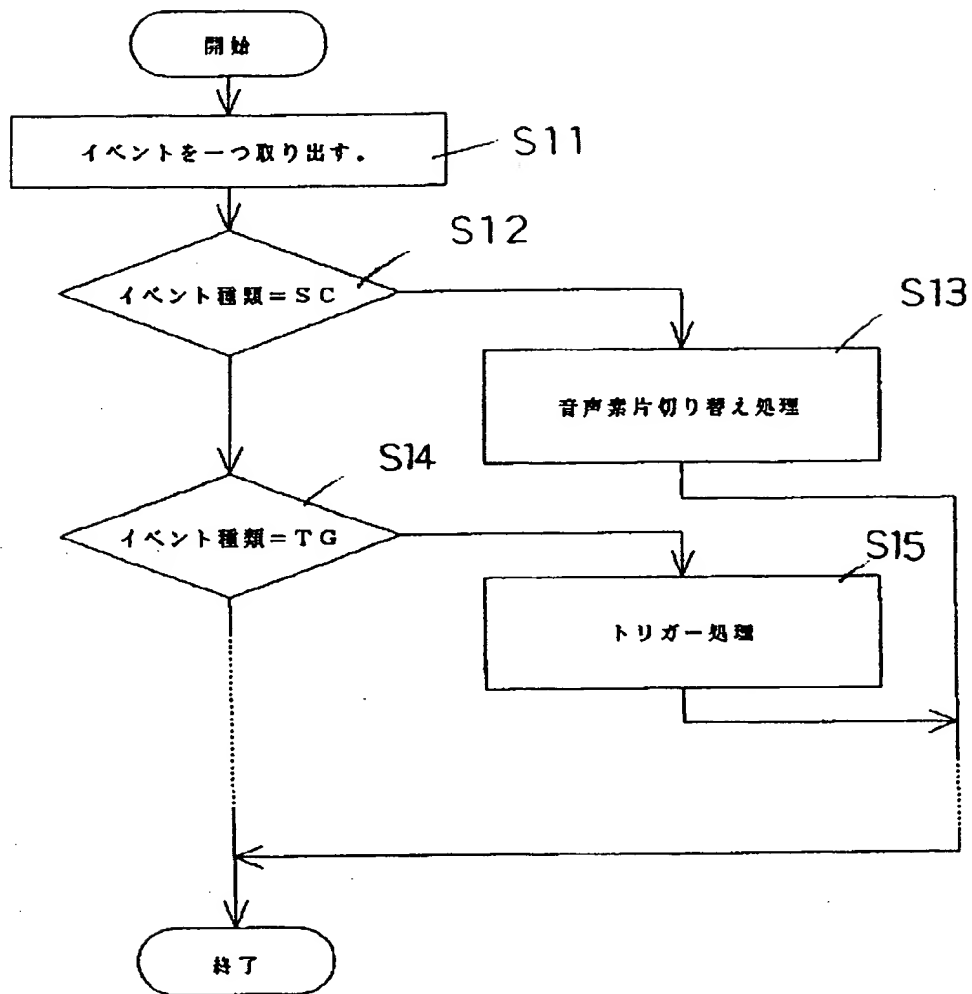
【図 15】



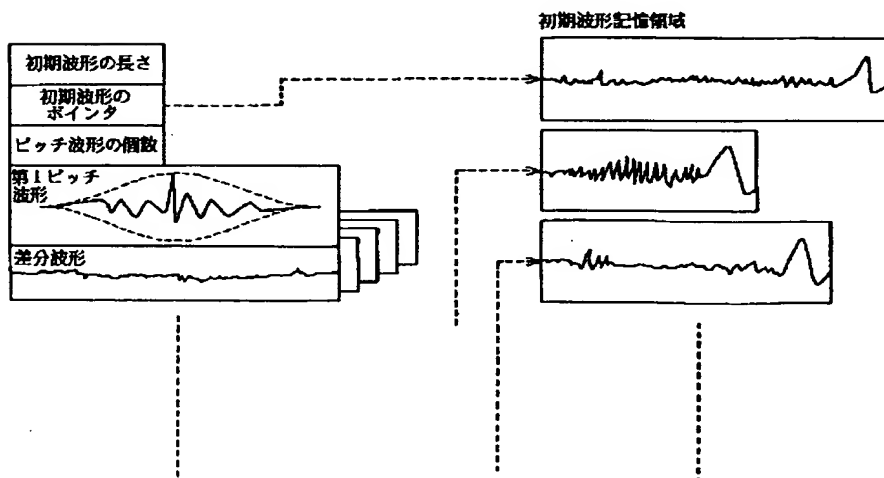
【図 19】

	イベント数	メモリアクセス	三角関数演算	乗算	加算
従来技術	$\frac{n(n-1)}{2}$	2	2	4	3
第 1 の実施例	$n$	$n$	0	0	$n-1$
	4	4	0	0	3
第 2 の実施例	$n$	$3n$	0	0	$2n-1$
	4	12	0	0	7

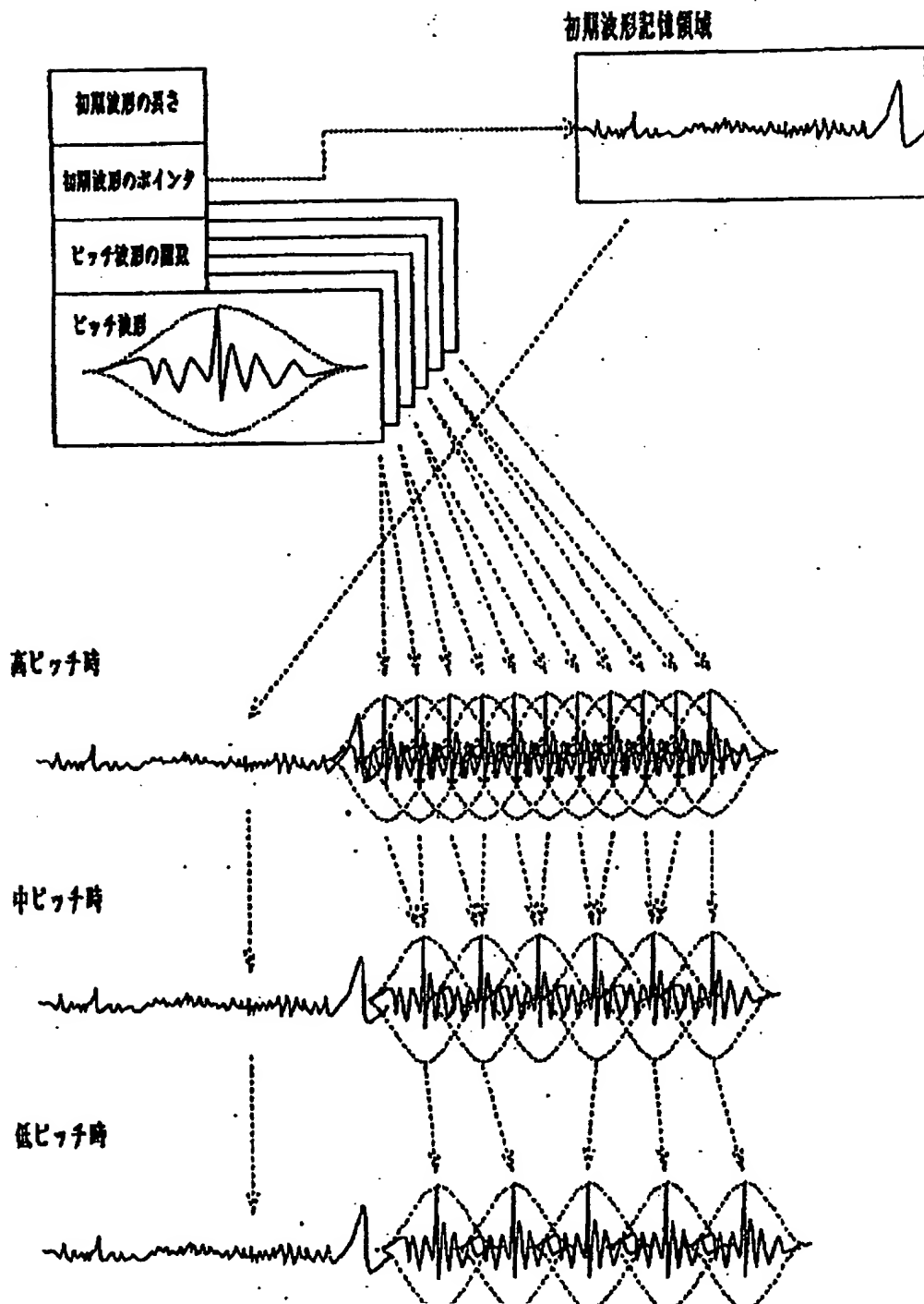
【図 9】



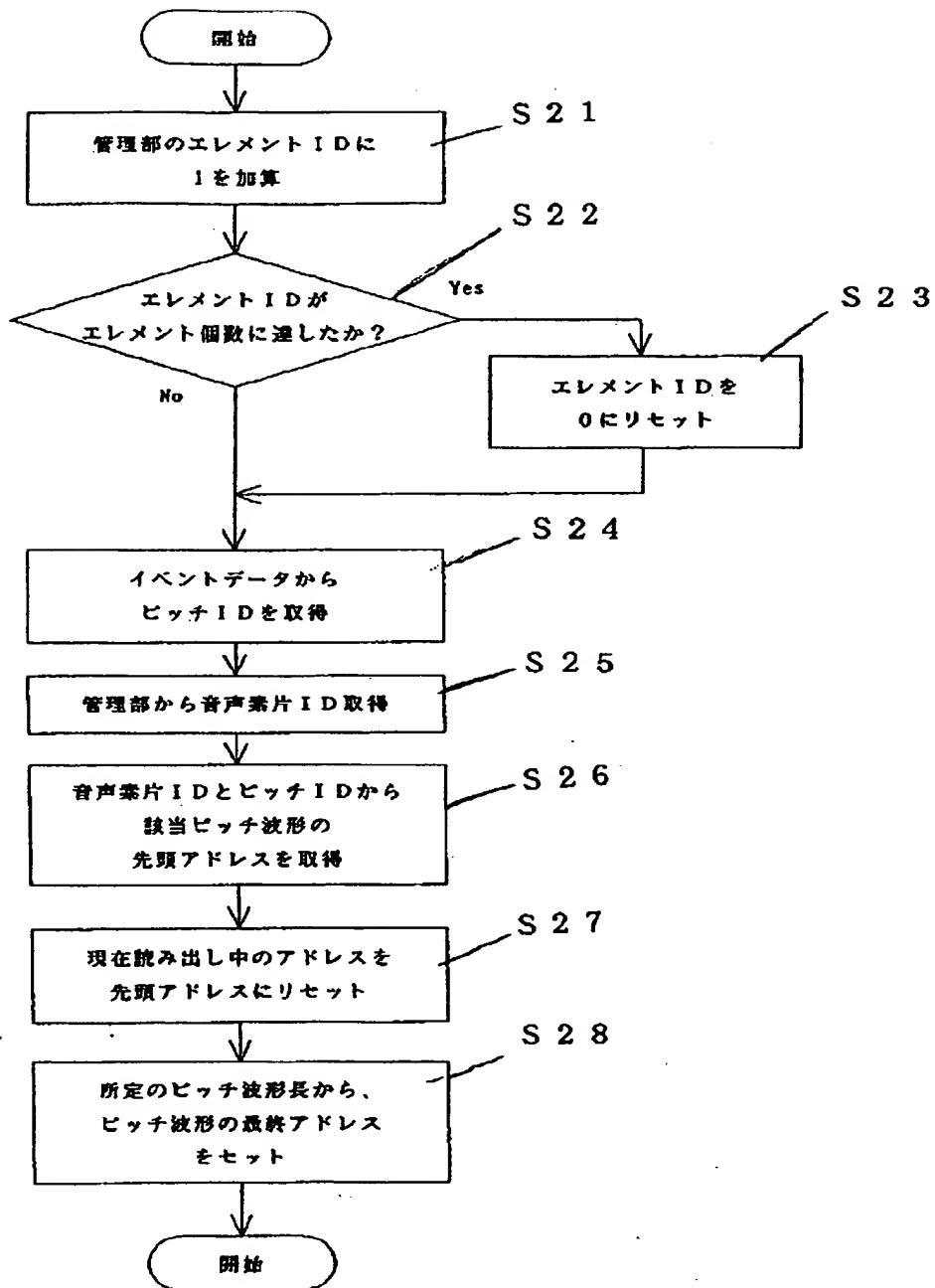
【図 17】



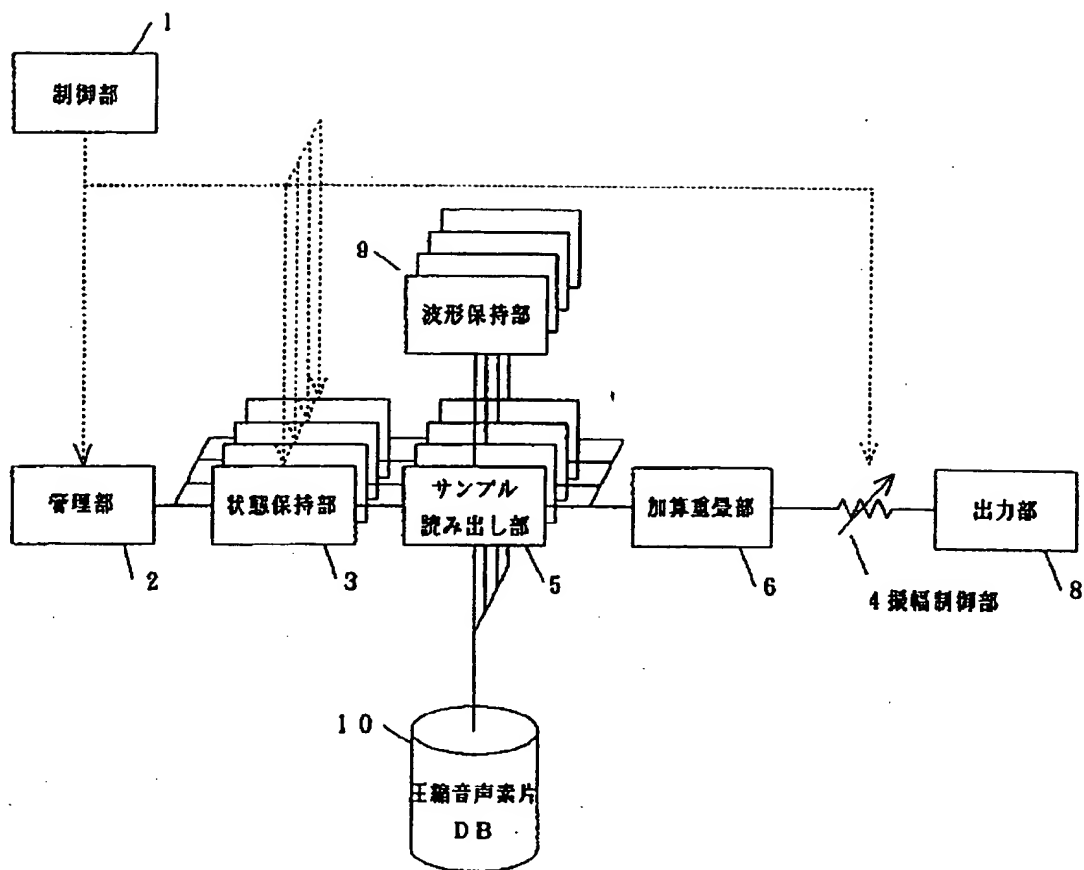
【図 10】



【図 11】



【図 1 6】



【図 18】

